

Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ",
А.А. МИРОШНИЧЕНКО, ХНАГХ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Розглядається задача моніторингу якості теплопостачання житлових масивів на основі сингулярно-спектрального аналізу зв'язного споживання енергоресурсів. У плані вдосконалення відомих методів запропонована нова методика аналізу структурних змін часових рядів. Приведені приклади практичної реалізації аналізу структурних змін по викладеній методиці.

The monitoring of the quality of heat-providing of dwelling areas based on the Singular Spectrum Analysis of the linked consumption of power-resources is described. The new method of analysis of structural changes in time series is offered. The known method is improved. The examples of practical realisation of analysis based on the expounded method are represented.

Постановка проблемы. На сегодняшний день существует множество проблем энергоснабжения городов, среди которых можно выделить такие: энергоснабжение городов в условиях дефицита энергоресурсов, оптимизация связанного потребления тепловой и электрической энергии большими жилыми массивами, повышение эффективности централизованного теплоснабжения. Развитие компьютерных информационных систем и технологий, а также совершенствование методов математического моделирования делают возможным создание и усовершенствование автоматизированных систем управления энергоснабжением в муниципальном хозяйстве. Накопленные с помощью компьютерных технологий обширные архивы данных позволяют осуществить построение и исследование временных рядов в задачах мониторинга энергоснабжения.

Анализ литературы. Для решения указанных проблем авторами в [1 – 6] рассматриваются различные концепции. В [1] автором проводится исследование сезонных закономерностей связанного потребления электроэнергии, газа и тепла в коммунально-бытовом секторе, формируется эталон потребления электроэнергии, отвечающий качественному теплоснабжению, предлагается создание замкнутой системы регулирования отпуска тепла, рассматривается концепция автоматизации учета и управления бытового энергопотребления, описывается использование аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества теплоснабжения жилых массивов.

Цель статьи – разработка методики обнаружения моментов времени структурных изменений временного ряда данных электропотребления для осуществления мониторинга качества теплоснабжения.

Исследование структуры временных рядов энергопотребления. На первый взгляд, на увеличение потребления населением энергоресурсов и на изменение структуры энергопотребления влияют только два фактора: сезонное снижение наружной температуры воздуха и уменьшение длины светового дня. Однако, текущий уровень потребления электроэнергии определяется не только такими факторами как время года (среднесуточная температура воздуха, связанная с календарной датой) и время суток. На потребление электрической энергии жилыми массивами (как на освещение, бытовые нужды, так и на дотопы, вследствие неудовлетворенности потребителей качеством теплоснабжения) влияют также факторы, характеризующие текущие погодные условия (наружная температура воздуха, облачность, влажность, направление ветра, наличие осадков, тумана и прочее). Следует также учитывать прогноз погоды, так как в системе централизованного теплоснабжения и работе электронагревательных приборов присутствует эффект запаздывания. Не следует забывать и про финансовую сторону вопроса, связанную с экономией населением электроэнергии при повышении тарифов на ее оплату, поскольку потребитель желает испытывать чувство комфортности по двум параметрам: "тепловая комфортность" и "финансовая комфортность".

В связи с вышесказанным возникает задача разделения ряда на структурные компоненты с целью их дальнейшего анализа.

Для решения подобной задачи предлагается применение метода сингулярно-спектрального анализа (SSA) [7], основанного на преобразовании одномерного временного ряда $F_N = \{f_1, \dots, f_N\}$ в траекторную матрицу X (столбцами которой являются фрагменты ряда длиной L – параметр "длина окна"), исследовании ее с помощью анализа главных компонент (сингулярного разложения). Метод состоит из двух этапов: разложение, восстановление. В процессе сингулярного разложения формируется набор собственных троек:

$$\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i, \text{ где } \lambda_i \text{ и } U_i - \text{собственные числа и собственные векторы матрицы } R = XX^T, V_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} X^T U_i - \text{факторные векторы. Каждое собственное число } \lambda_i$$

характеризует уровень значимости структурной компоненты ряда, восстановленной по данной собственной тройке. Восстановление включает в себя группировку собственных троек (разделение аддитивных компонент ряда) и диагональное усреднение (формальная процедура преобразования полученных в процессе группировки матриц во временные ряды). Результатом применения метода является разложение ряда на простые компоненты.

Поскольку изменение структуры ряда приводит к изменению спектра матрицы $R = XX^T$, данные об изменениях сингулярных чисел (которые в данном случае являются информативными параметрами) предлагается использовать для обнаружения моментов структурных изменений временного ряда.

Разработка методики обнаружения моментов изменения структуры временного ряда. Основываясь на вышесказанном, предлагается новая методика диагностики структурных изменений временных рядов. Выбирается диапазон просмотра исследуемого временного ряда D . Выбор диапазона осуществляется на основе предварительного анализа временного ряда или на основе использования априорной информации о структурных составляющих ряда. Далее с помощью метода SSA проводится разложение фрагмента временного ряда, попавшего внутрь диапазона просмотра, и анализируется полученный в результате разложения набор собственных троек. На каждом последующем шаге границы диапазона просмотра смещаются на один элемент временного ряда. Поскольку каждая собственная тройка однозначно определяет компоненту разложения, то анализ изменений в структуре собственных троек сингулярного разложения фрагмента ряда внутри диапазона просмотра дает возможность выявить структурные изменения временного ряда. Появление новых собственных троек свидетельствуют о появлении в ряде новых структурных составляющих. Исчезновение собственных троек в сингулярно-спектральном разложении свидетельствует о том, что соответствующие структурные компоненты более не присутствуют во временном ряду. Увеличение или уменьшение значений сингулярных чисел (и соответствующих им собственных чисел) в собственных тройках говорит об изменении уровня значимости соответствующих им компонент разложения, то есть об усилении или уменьшении воздействия фактора, обуславливающего появление компоненты в структуре временного ряда.

Остановимся детальнее на выборе диапазона просмотра D .

Выбор длины диапазона просмотра. Длина диапазона просмотра D является основным параметром описанной методики. От правильности выбора длины диапазона просмотра зависит точность идентификации структурных изменений во временном ряду. При этом необходимо учитывать всю дополнительную информацию о ряде данных. Если на формирование ряда влияют периодические факторы, то желательно, чтобы диапазон просмотра охватывал полный временной период такого воздействия. С этой точки зрения предпочтительно увеличение длины диапазона. Однако при этом необходимо учитывать тот факт, что нежелательно попадание в диапазон просмотра более одной точки структурной "разладки" ряда. С этой точки зрения диапазон просмотра желательно сузить. Важным критерием выбора длины диапазона просмотра является так же его соотношение с "длиной окна" L (параметром сингулярного разложения). Исходя из рекомендаций по выбору "длины окна" [7], величина L желательно должна быть близкой к половине длины ряда (в нашем случае к половине длины диапазона просмотра) и при этом кратной периоду периодической компоненты, присутствующей в ряде. Исходя из этого, желательно выбрать длину диапазона просмотра, как минимум вдвое превосходящую наибольший период предполагаемых периодических компонент ряда.

Для достижения наилучших результатов в идентификации структурных "разладок" временных рядов рекомендуется использование нескольких диапазонов просмотра с различной длиной.

Пример практической реализации. Практическая реализация изложенной методики представлена на реальных данных потребления электроэнергии Алексеевским микрорайоном города Харькова за период с 16.04.97 по 14.10.98 (наиболее характерный период за последние 10 лет). Длина временного ряда составила $N = 547$ (точка под номером 1 отвечает дате 16.04.97, а точка с номером 547 – дате 14.10.98).

Исследования проводились по изложенной методике при длине диапазона просмотра $D = 30$ ("длина окна" $L = 15$) (рис. 1) и $D = 60$ ("длина окна" $L = 30$) (рис. 2) с помощью программного продукта [8]. На рис. 1 и рис. 2 зафиксированы изменения значений собственных чисел, полученных при сингулярных разложениях, при движении диапазона просмотра.

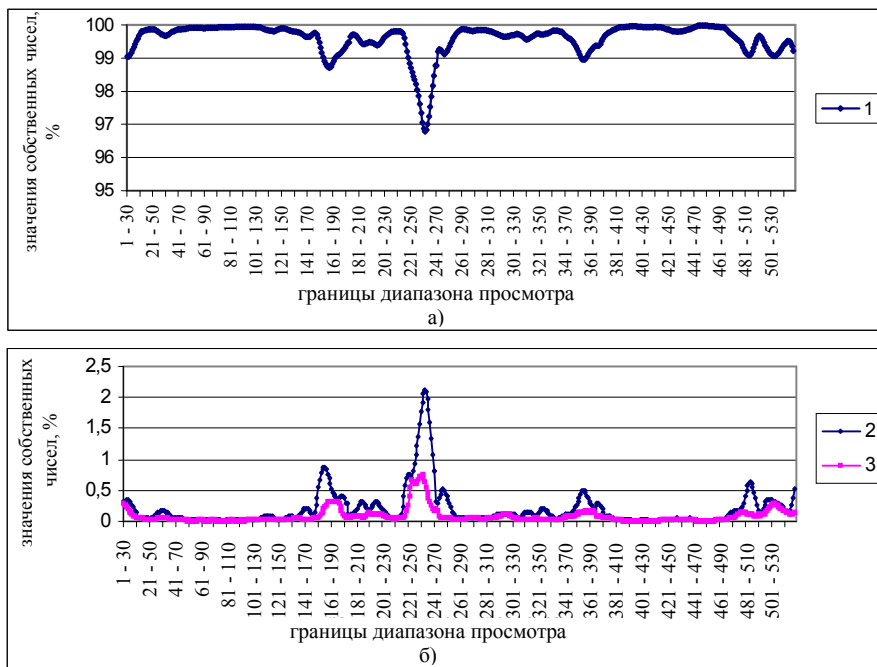


Рис.1. Динамика собственных чисел при $D = 30$
 а) 1-й собственной тройки б) 2-й и 3-й собственных троек

Анализируя представленные результаты можно отметить, что при использовании диапазона просмотра длиной $D = 30$, получаем более детальный анализ.

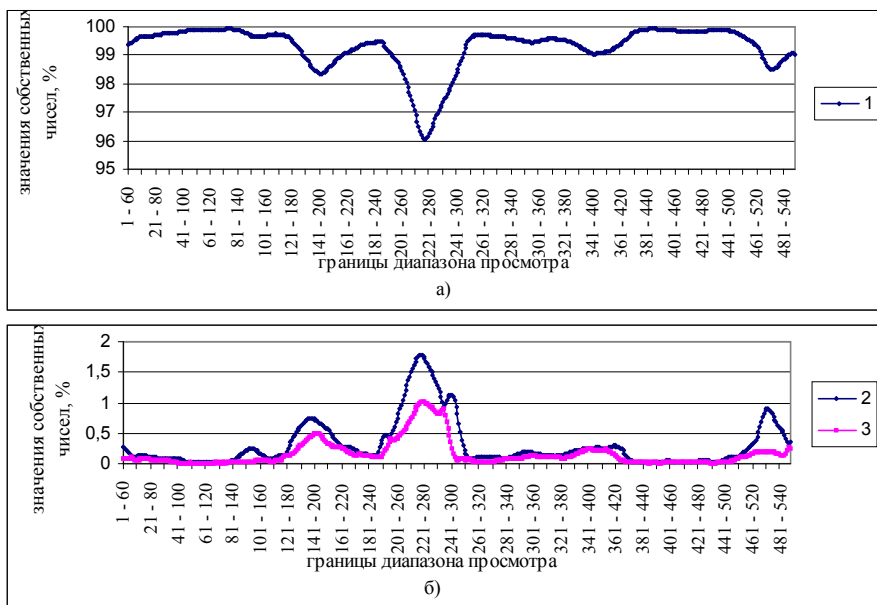


Рис. 2. Динамика собственных чисел при $D = 60$
 а) 1-й собственной тройки б) 2-й и 3-й собственных троек

Выводы. В результате проделанной работы разработана методика, усовершенствующая анализ структурных изменений временных рядов. При использовании системы мониторинга связанного потребления энергоресурсов, основанной на рассмотренной концепции, возможно решение следующих задач: выявление и изучение факторов, влияющих на особенности связанного потребления энергоресурсов; обнаружение и предотвращение сбоев в системе теплоснабжения; совершенствование регулирования отпуска тепла жилым массивам; осуществление оперативного контроля качества теплоснабжения.

Список литературы. 1. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях. – Х.: Изд-во "Харьков", 2002. – 240 с. 2. Юфа А.И., Носулько Д.Р. Комплексная оптимизация теплоснабжения. – К.: Техника, 1988. – 135 с. 3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с. 4. Сафонов А.П. Автоматизация систем централизованного теплоснабжения. – М.: Энергия, 1974. – 272 с. 5. Экономико-математические методы и модели принятия решений в энергетике / Лисочкина Т.В., Косматов Э.М., Ирешова А. И. др. Под ред. П. Долгова, И. Климы. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1991. – 224 с. 6. Сергеев С.А., Гринченко А.А. Экспертная система для идентификации качества теплоснабжения бытовых потребителей // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – № 36. – С. 111–118. 7. Главные компоненты временных рядов: метод "Гусеница" / Под. ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского. – СПб: Пресском, 1997. – 307 с. 8. Программный продукт "Caterpillar", <http://www.gistatgroup.com>

Поступила в редакцию 15.10.2007